

## 四、本课内容

- 第一章 绪论
- 第二章 螺旋桨的几何特征
- 第三章 螺旋桨基础理论及水动力特性
- 第四章 螺旋桨模型的敞水试验
- 第五章 螺旋桨与船体间的相互作用
- 第六章 螺旋桨的空泡现象
- 第七章 螺旋桨的强度计算
- 第八章 螺旋桨图谱设计
- 第九章 船模自航试验及实船性能预估

## § 1.2 马力及效率

### 一、有效推力 $T_e$ ，阻力 $R$

自航船舶  $T_e=R$

拖船  $T_e=R+F$

有效功率（有效马力）：

$$P_E = \frac{T_e v}{75} = \frac{R v}{75} \quad (hp)$$

### 二、主机马力和传送效率

主机马力  $P_s$

收到马力  $P_D$ ：在主轴推进器联接处量得的马力

传送效率  $\eta_s$

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_s}$$

### 三、推进效率和推进系数

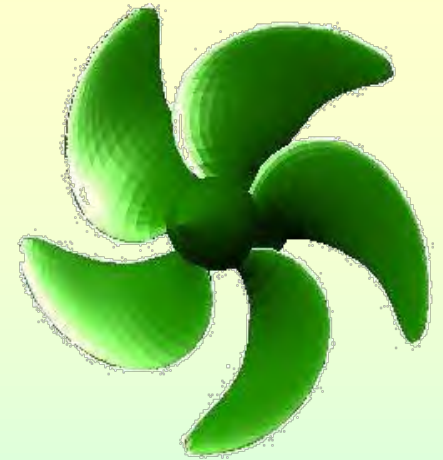
推进效率 $\eta_D$ （似是推进系数QPC）

$$\eta_D = P_E / P_D$$

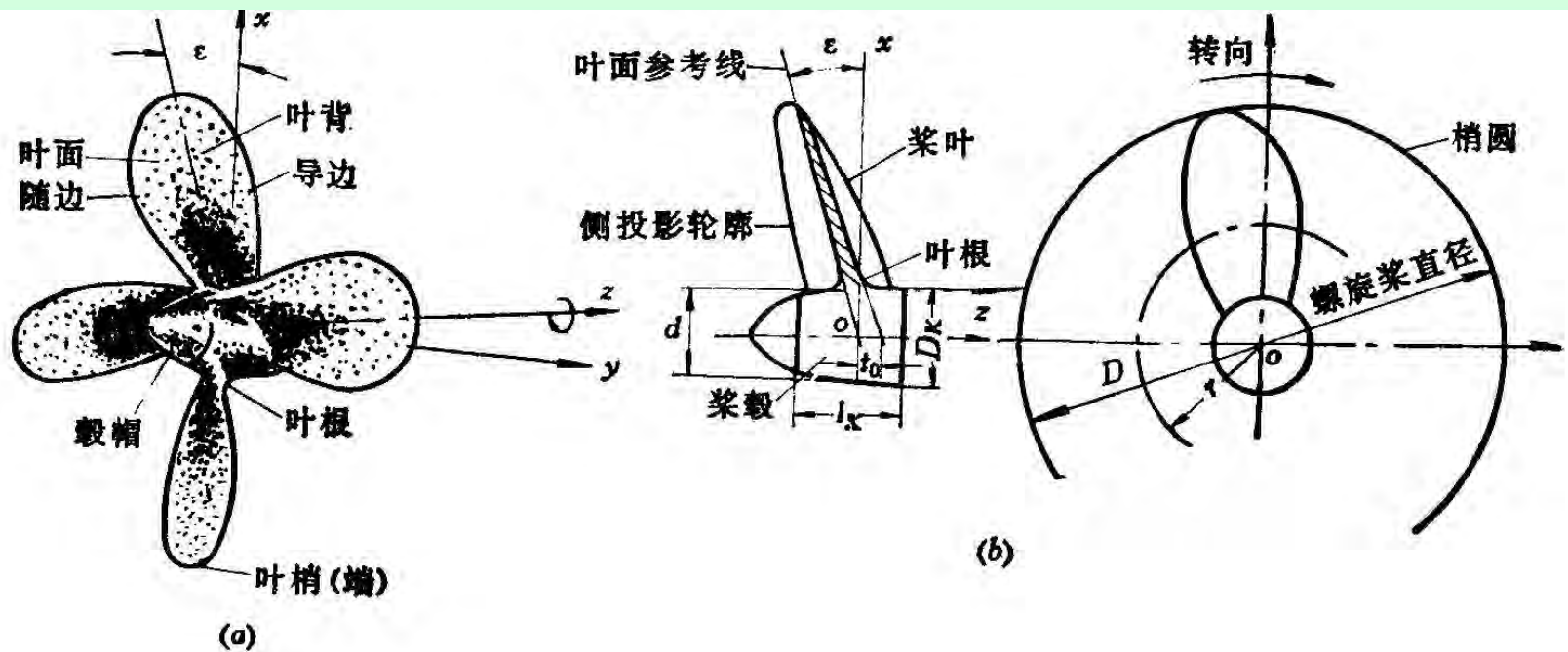
推进系数P.C.

$$P.C. = P_E / P_S = \eta_D \eta_S$$

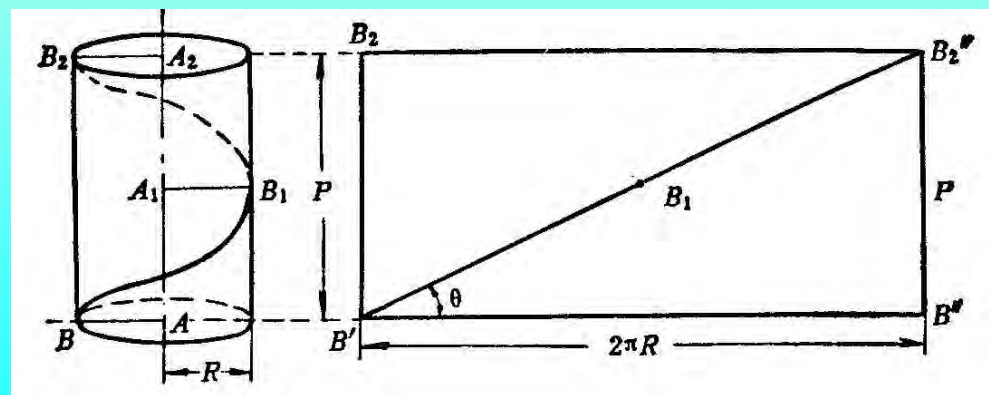
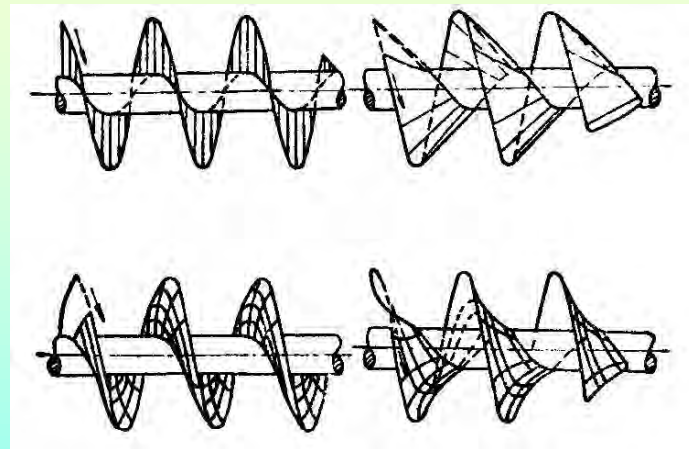
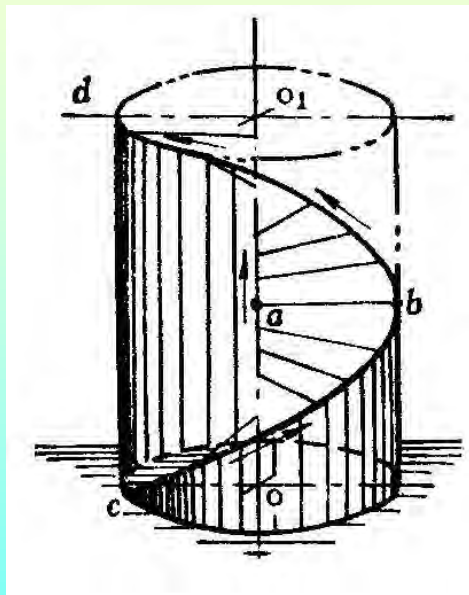
## 第二章 螺旋桨的几何特征



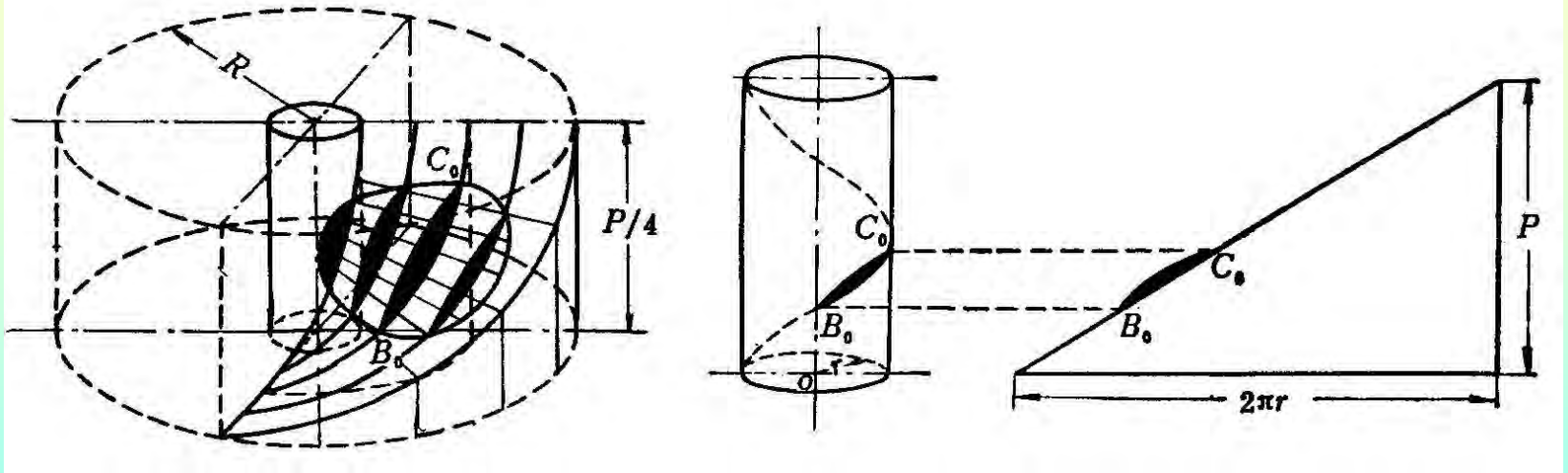
### § 2.1 螺旋桨的外形和名称



## § 2.2 螺旋面及螺旋线



## § 2.3 螺旋桨的几何特征



螺旋桨的几何参数:

直径  $D$

叶数  $Z$

毂径比  $d_h/D$ :

螺距比  $P/D$ :

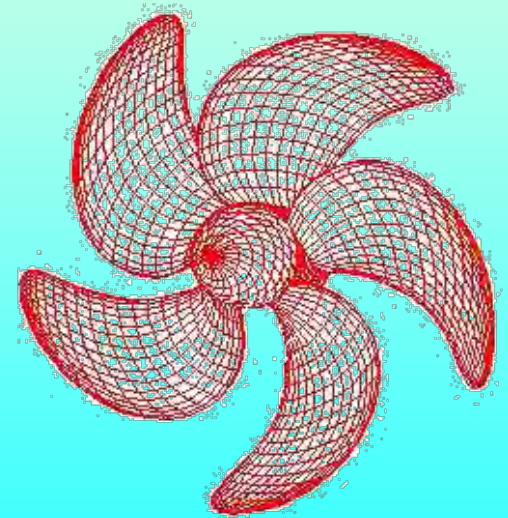
盘面比  $A_E$ : 投射面积比, 伸张面积比, 展开面积比

纵倾~纵倾角

侧斜

# 第三章 螺旋桨基础理论及水动力特性

- 动量定理：理想推进器理论，理想螺旋桨理论
- 叶元体理论
- 升力线理论
- 升力面理论
- 面元法



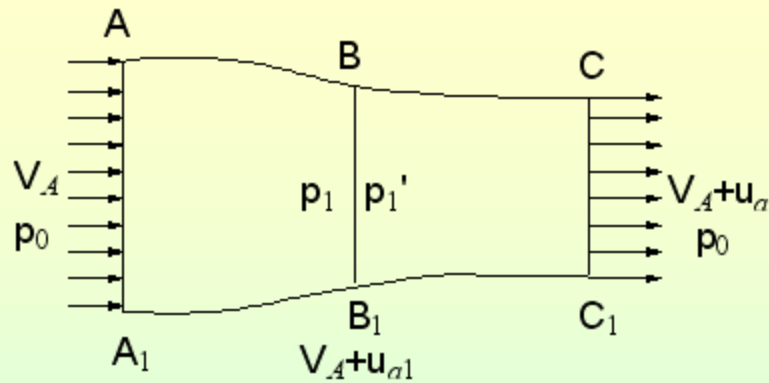
## § 3.1 理想推进器理论

### 一、理想推进器的概念和力学模型

三个假设:

- 1、轴向零尺度, 水可自由流过, 吸收功率推水向后的圆盘;
- 2、流速及压力在圆盘上均匀分布;
- 3、水为不可压缩的理想流体。

该理论也可用于喷水推进、明轮等推进装置



单位时间流经盘面的流体质量为:

$$m = \rho A_0 (V_A + u_{a1})$$

由动量定理:

$$T_i = \rho A_0 (V_A + u_{a1}) u_a = m u_a$$

由伯努力方程:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho V_A^2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho (V_A + u_{a1})^2$$

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho (V_A + u_a)^2 = p'_1 + \frac{1}{2} \rho (V_A + u_{a1})^2$$

推力即为盘面前后的压力差:

$$T_i = (p'_1 - p) A_0 = \rho A_0 (V_A - \frac{1}{2} u_a) u_a$$

比较上述两式得到:

$$u_{a1} = \frac{1}{2} u_a$$

桨盘面前后的动能之差为推进器消耗功率:

$$\frac{1}{2}m(V_A + u_a)^2 - \frac{1}{2}mV_A^2 = mu_a(V_A + \frac{1}{2}u_a) = T_i(V_A + \frac{1}{2}u_a)$$

理想推进器的效率为:

$$\eta_{iA} = \frac{T_i V_A}{T_i(V_A + \frac{1}{2}u_a)} = \frac{V_A}{V_A + \frac{1}{2}u_a}$$

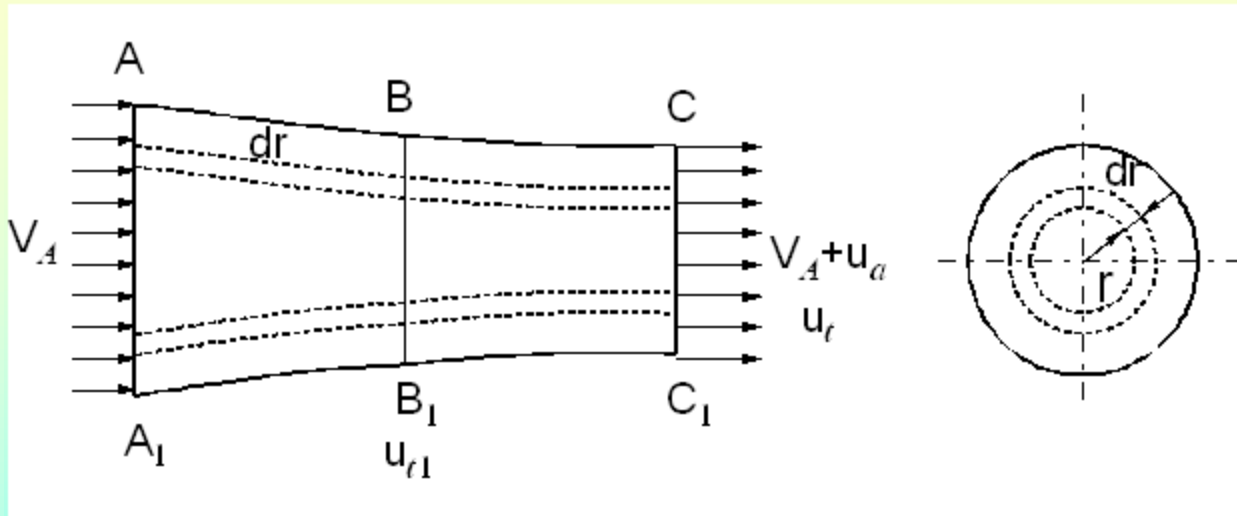
整理得:

$$\eta_{iA} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \sigma_T}}$$

负荷系数

$$\sigma_T = \frac{T_i}{\frac{1}{2}\rho A_0 V_A^2}$$

## § 3.2 理想螺旋桨理论



单位时间流过盘面上 $dr$ 段圆环的流体质量为：

$$dm = \rho dA_0 \left( V_A + \frac{1}{2} u_a \right)$$

桨盘面前后的动量矩之差即为桨作用于这些流体的扭矩：

$$dQ = dm r u_t - 0 = dm r u_t$$

相应的切向力为：

$$dF = dQ / r = dm u_t$$

旋转能量的改变等于切向力所做的功：

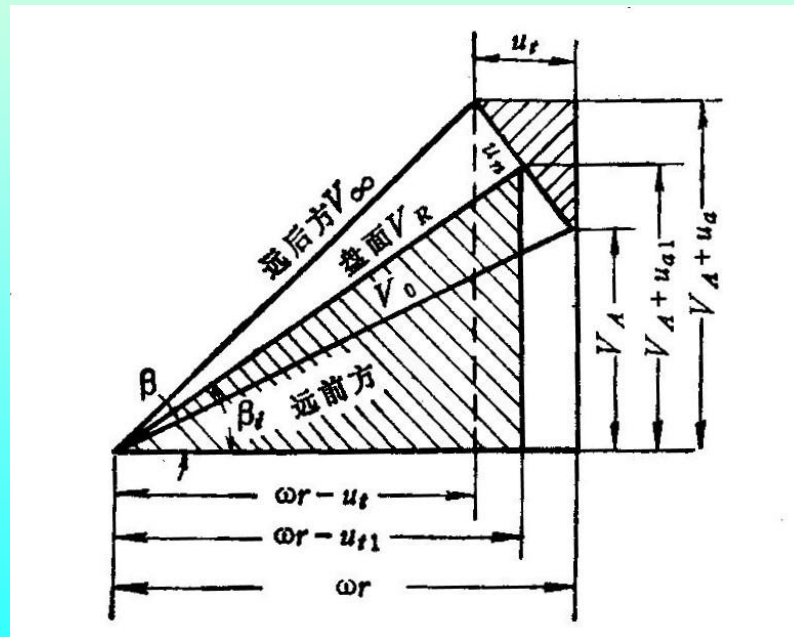
$$dF_i u_{t1} = \frac{1}{2} dm u_t^2 \quad \longrightarrow \quad u_{t1} = \frac{1}{2} u_t$$

$dr$ 圆环面积吸收的功率 $\omega r dF_i$ 完全消耗于水中，使 $dm$ 的动能增加：

$$\omega r dF_i = dm u_a (V_A + \frac{1}{2} u_a) + \frac{1}{2} dm u_t^2$$

所以有：

$$\frac{u_a}{u_t} = \frac{\omega r - \frac{u_t}{2}}{V_A + \frac{u_a}{2}}$$



dr圆环面积所作的有用功为  
 $dT_i V_A$ ，这样其理想效率为：

$$\eta_i = \frac{dT_i V_A}{dF_i \omega r} = \frac{dm u_a V_A}{dm u_t \omega r} = \frac{u_a V_A}{u_t \omega r}$$

从而有：

$$\eta_i = \frac{V_A}{V_A + \frac{u_a}{2}} \cdot \frac{\omega r - \frac{u_t}{2}}{\omega r} = \eta_{iA} \eta_{iT}$$

轴向诱导效率

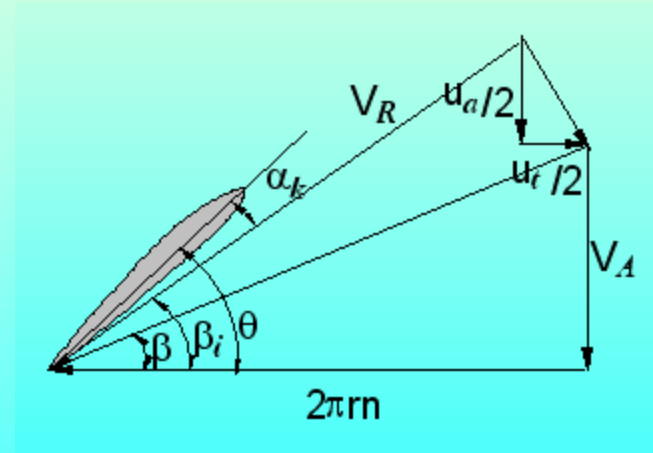
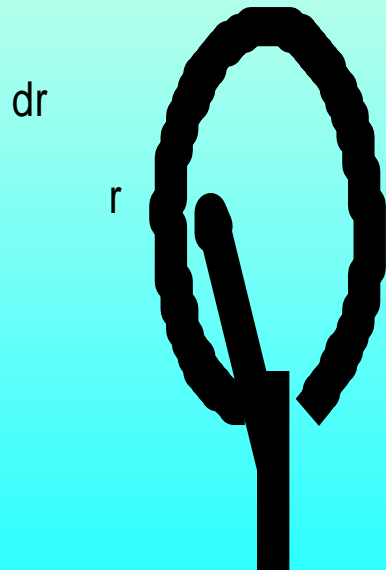
$$\eta_{iT} = \frac{\omega r - \frac{u_t}{2}}{\omega r}$$

周向诱导效率

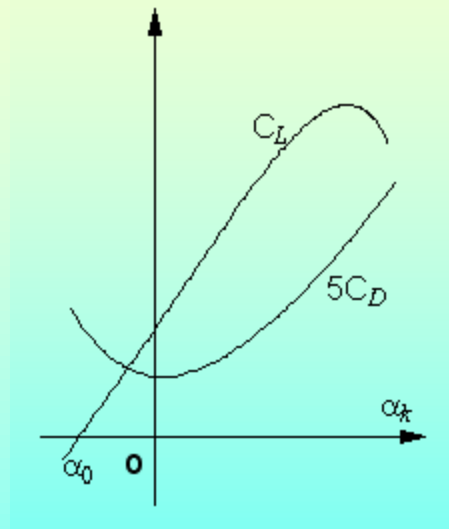
思考题：试述理想推进器效率和理想螺旋桨效率的区别。

### § 3.3 作用在桨叶上的力和力矩

## 一、速度多角形



## 二、作用在机翼上的升力和阻力



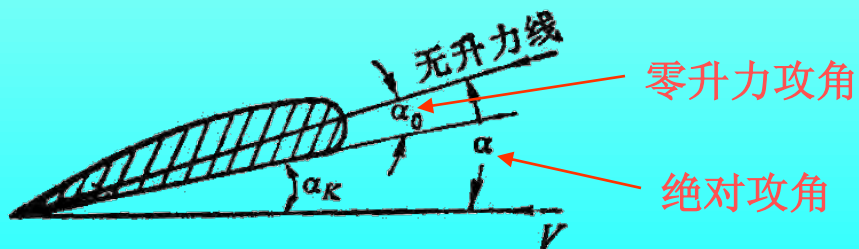
如科夫斯基定理:

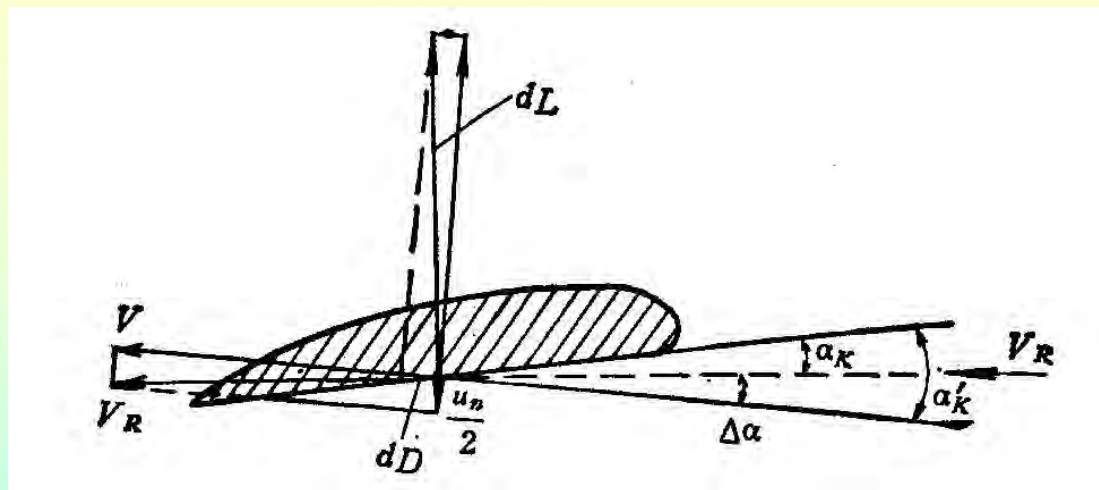
$$L = \rho V \Gamma$$

升力、阻力系数:

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$$





三维机翼的横向流动导致下洗速度使

合速度  $V \rightarrow V_R$

下洗角:  $\Delta\alpha = \alpha'_k - \alpha_k \approx \frac{u_n}{2V} \quad (2^\circ \sim 3^\circ)$

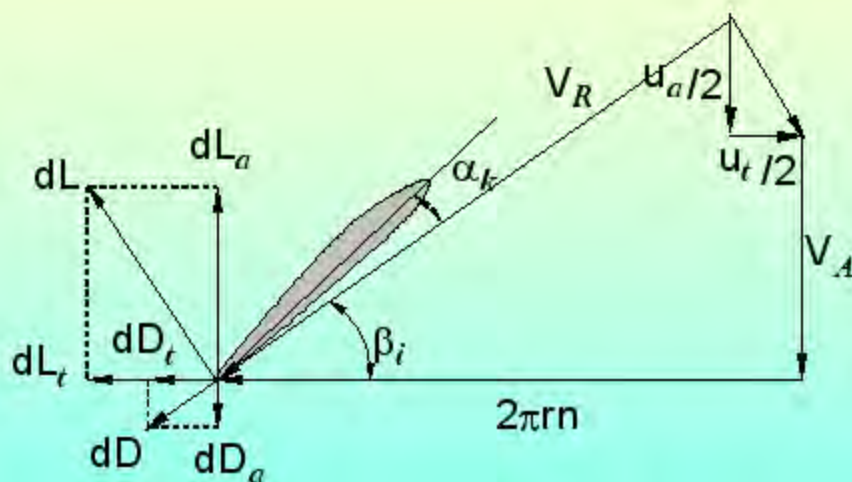
$\alpha'_k \rightarrow \alpha_k$

有效几何攻角

考虑诱导速度后，将叶元体看作二维机翼的一段，其升力为：

$$dL = \rho V_R \Gamma dy$$

### 三、螺旋桨的作用力



叶元体的推力及切向力为：

$$\begin{cases} dT = dL_a - dD_a = dL \cos \beta_i - dD \sin \beta_i \\ dF = dL_t + dD_t = dL \sin \beta_i + dD \cos \beta_i \end{cases}$$

代入 $dD=\varepsilon dL$ :

$$\begin{cases} dT = \rho \Gamma(r) V_R \cos \beta_i (1 - \varepsilon \operatorname{tg} \beta_i) dr \\ dF = \rho \Gamma(r) V_R \sin \beta_i (1 + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \beta_i}) dr \end{cases}$$

由速度多角形可见:

$$\begin{cases} V_R \cos \beta_i = \omega r - \frac{1}{2} u_t \\ V_R \sin \beta_i = V_A + \frac{1}{2} u_a \end{cases}$$

所以推力和转矩为:

$$\begin{cases} dT = \rho \Gamma(r) (\omega r - \frac{1}{2} u_t) (1 - \varepsilon \operatorname{tg} \beta_i) dr \\ dQ = \rho \Gamma(r) (V_A + \frac{1}{2} u_a) (1 + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \beta_i}) r dr \end{cases}$$

叶元体的效率为:

$$\eta_{0r} = \frac{V_A dT}{\omega dQ} = \frac{V_A}{V_A + \frac{1}{2} u_a} \cdot \frac{\omega r - \frac{1}{2} u_t}{\omega r} \cdot \frac{1 - \varepsilon \operatorname{tg} \beta_i}{1 + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \beta_i}} = \eta_{iA} \cdot \eta_{iT} \cdot \eta_{\varepsilon}$$

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{1 - \varepsilon \operatorname{tg} \beta_i}{1 + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \beta_i}}$$

结构效率

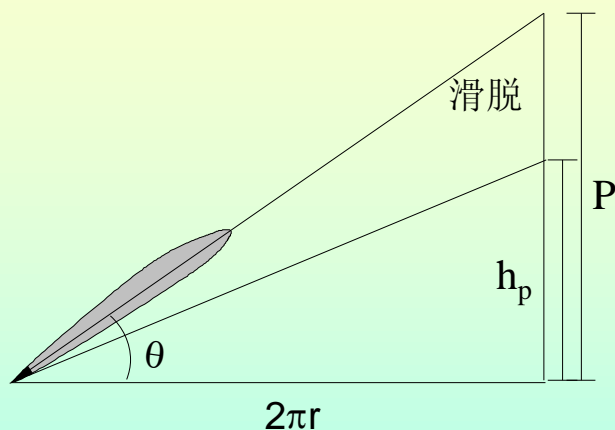
螺旋桨的推力和转矩为：

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \rho Z \int_{R_h}^R \Gamma(r) \left( \omega r - \frac{1}{2} u_t \right) (1 - \varepsilon \operatorname{tg} \beta_i) dr \\ Q = \rho Z \int_{R_h}^R \Gamma(r) \left( V_A + \frac{1}{2} u_a \right) \left( 1 + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \beta_i} \right) r dr \end{array} \right.$$

螺旋桨的效率为：

$$\eta_0 = \frac{TV_A}{2\pi nQ}$$

## 四、螺旋桨的水动力性能



进程:

$$h_p = \frac{V_A}{n}$$

滑脱: 螺距与进程之差

滑脱比: 滑脱与螺距之比

$$s = \frac{P - h_p}{P} = 1 - \frac{h_p}{P} = 1 - \frac{V_A}{nP}$$

进速系数: 进程与直径之比

$$J = \frac{V_A}{nD} = \frac{P}{D}(1 - s)$$

无推力进程或实效螺距 $P_1$ , 无转矩进程 $P_2$ , 一般  $P_2 > P_1 > P$

实效滑脱比: 滑脱与实效螺距之比

$$s_1 = \frac{P_1 - h_p}{P_1} = 1 - \frac{h_p}{P_1} = 1 - \frac{V_A}{nP_1}$$

无因次水动力系数:

推力系数:

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

转矩系数:

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

敞水效率:

$$\eta_0 = \frac{TV_A}{2\pi nQ} = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J}{2\pi}$$

